干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.01.18

基于 CiteSpace 国内干旱遥感监测的知识图谱分析①

王建勋， 华 丽， 邓世超， 孔祥茹， 王惠东
（华中农业大学水土保持研究中心，湖北 武汉 430070）

摘　要： 利用 CiteSpace 软件对 1995—2017 年中国知网的“SCI 来源期刊”、“EI 来源期刊”、“核心期刊”以及“CSSCI 来源期刊”数据库中有关干旱遥感监测研究的 642 篇文献进行可视化分析得到知识图谱。结果表明：国内经历了传统基于站点的干旱监测、小范围的干旱遥感监测试验到大范围干旱遥感监测及应用三个阶段；干旱遥感监测主要从“干旱监测”、“遥感监测”、“温度植被干旱指数”、“土壤湿度”、“地表温度”以及“归一化植被指数”等方向展开；王鹏新、张树誉、张强等是主要的发文作者；中国科学院、中国气象局、中国农业大学等是主要的发文机构。基于多源信息的干旱综合监测模型、大范围干旱监测评估、预警以及决策支持系统、干旱遥感监测技术在社会服务方面的应用以及加强国内学者与机构之间的交流合作是未来国内干旱监测研究几个重要方面。

关 键 词： 干旱监测；遥感；CiteSpace；知识图谱
文章编号： 1000-6060(2019)01-0154-08(0154~0161)

作为全球性自然灾害现象之一，干旱的波及范围广，持续时间长，破坏性大，成为制约农业生产和国民经济发展最为严重的自然灾害之一[1-2]。与周期较长的干旱现象不同的是，旱灾主要是短时间内降水量比正常条件下降水量少导致的水资源供需不平衡，从而对生产与生活产生巨大影响的自然灾害，具有偶然性和破坏性的特点[3]。近年来，在全球气候变暖和干湿分布格局发生变化的背景下，旱灾发生的频率不断增加，程度日趋严重。我国地理位置与气候特殊，是受旱灾影响最为严重的国家之一。2016 年，全国作物受旱面积 $2\ 019\times10^4$ hm^2、因旱灾造成的粮食损失 $1\ 906\times10^4$ t，直接经济损失 484.15×10^8 元[4]。应用有效的干旱监测技术，是进行旱灾预警与预防，降低旱灾影响、减少经济损失的重要途径[5]。

干旱通常被分为气象干旱、农业干旱、水文干旱以及社会经济干旱，其中降水量的减少是气象干旱发生的根本原因，其它类型的干旱则为水资源短缺在各自领域的反映[6]。极其复杂的产生机理使得干旱在受到气温、降水、地形等自然因素影响的同时也受到如作物种植布局、品种及生长状况等人为因素的影响[7]。因此，干旱监测技术一直是最难攻克的技术之一。传统的干旱监测是基于站点的监测，成本高，获取数据有限，监测范围小，对大范围的旱情监测与评估缺乏时效性与代表性。遥感技术因具有覆盖范围广、时空分辨率高、数据获取方便等优点，越来越多地被应用于干旱监测[8]。对我国“干旱遥感监测”研究成果进行归纳与总结，有助于从整体上把握其研究现状与趋势。本文采用文献计量的方法进行客观统计分析，借助 CiteSpace 软件中可视化表达的知识图谱探寻我国干旱遥感监测研究领域的研究现状，深入挖掘该研究领域的研究态势，揭示干旱遥感监测研究领域的前沿与热点，为干旱遥感监测方法的完善与发展提供支持。

1　方法与数据

1.1　研究方法

CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学陈超美教授开发的一款基于 JAVA 语言的信息可视化软件，该软件是通过引文分析和共现词分析的方法，对特定学科领域的文献进行统计、分析与挖掘，寻求学科领域的演变趋势、发展前沿与研究热点，并将分析结果

① 收稿日期：2018-05-09； 修订日期：2018-09-20
基金项目：国家自然科学基金项目(41601280)；中央高校基本科研业务费专项资金（2662015QC015）
作者简介：王建勋(1995-)，男，山东泰安人，硕士研究生，主要从事农业遥感应用. E-mail：wangjianxun0119@163.com
通讯作者：华丽(1977-)，女，宁夏吴忠人，博士，讲师. E-mail：huali@hzau.edu.cn

通过绘制知识图谱的形式进行可视化表达[9]。CiteSpace 的主要功能包括文献共被引和耦合分析、科研合作网络分析以及主题和领域共现分析[10]。本文是利用 CiteSpace 中国学术期刊出版总库(CNKI, China National Knowledge Infrastructure)数据分析模块,对关键词共现,作者、机构等合作网络等知识图谱进行分析。

1.2 数据来源

国内干旱监测技术经历了基于站点监测到应用遥感技术监测的过程。由于监测区域地理位置和气候条件的差异,衍生出很多不同的干旱监测方法[11]。本文的数据样本取自 CNKI。CNKI 收录期刊类型众多,期刊之间影响力差距较大,因此,本文限定分析期刊来源类别为:"SCI(Science Citation Index)来源期刊"、"EI(Engineering Index)来源期刊"、"核心期刊"以及"CSSCI(Chinese Social Science Citation Index)来源期刊"。使用 CNKI 高级搜索,以"干旱监测"or"干旱遥感监测"or"干旱指数"or"干旱监测研究"or"干旱监测技术"为主题,设定时间范围为 1995—2017 年,通过模糊匹配,检索出 1483 条记录,经过去重,筛选,删除期刊会议征稿、卷首语、个人介绍等不相关的文献,最终得到有关干旱监测文献 642 篇。

2 结果与分析

2.1 发文量分析

自 1995 年以来,围绕干旱遥感监测研究的发文数量呈递增趋势,主要分为三个阶段,即:"起步探索期—快速增长期—持续发展期"(图 1)。20 世纪末前后属于第一阶段,这一阶段的干旱监测主要是基于站点的观测,是传统站点监测向遥感监测转变的过渡性时期。我国干旱遥感监测研究起步较晚,监测体系尚未完全建立,技术未能得到普及。部分学者利用降水距平百分比(Precipitation Anomaly Percentage)、标准化降水指数(*SPI*, Standardized Precipitation Index)等气象监测数据进行干旱监测并取得较好的监测效果[12-14]。2002—2010 年属于快速增长期,遥感技术的快速发展,特别是中分辨率成像光谱仪(MODIS, Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)遥感数据的高时间分辨率与开源性使大面积实时监测成为可能。一方面,温度植被干旱指数(*TVDI*, Temperature Vegetation Dryness Index)、水分亏缺指数(*WDI*, Water Deficit Index)等国外发展较成熟的监测模型在国内逐渐被应用[15-16];另一方面,国内学者提出的条件温度植被干旱指数(*VTCI*, Vegetation Temperature Condition Index)[17]、垂直干旱指数(*PDI*, Perpendicular Dryness Index)[18]等监测指数,进一步促进了国内干旱遥感监测的发展。2010—2017 年是第三阶段,发文量在快速增长期后呈现持续发展趋势。这一时期的主要特点是受全球气候变暖的影响,干旱现象越来越受到国内学者的关注,部分学者对众多干旱监测指标进行对比与归纳,建立起比较完善的分类体系,为干旱遥感监测指标的选取与应用提供了参考[7,19]。此外,干旱监测范围从关注度较高的西北地区扩展至全国范围,干旱监测方法的区域适用性成为该时期的研究热点[20]。

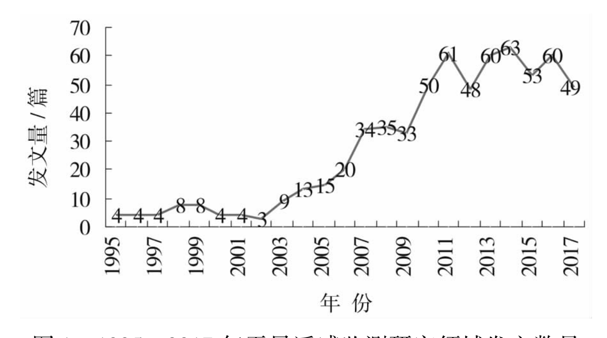


图 1 1995—2017 年干旱遥感监测研究领域发文数量

Fig. 1 Number of published papers on drought remote sensing monitoring reseach in 1995—2017

2.2 关键词分析

关键词共现分析是一种内容分析技术,通过对同一文本主题中单词或名词短语对共现形式的分析,揭示文本所代表的学科领域中相关主题的关系,进而发现学科研究热点和研究趋势,探索分析学科领域的发展[21]。使用 CiteSpace 对研究对象的关键词进行分析,设置时间跨度为 1995—2017 年,单个时间分区长度为 1;聚类词来源为:"Title"、"Abstract"、"Author Keyword"以及"Keyword Plus";节点类型选择"Keyword";提取每个时区被引频次最高的 50 个关键词,生成关键词共现网络知识图谱(图 2)。

图 2 中共有 86 个节点,108 条连线,网络密度为 0.029 5。关键词出现的频次由节点外圆圈反映,圆圈越大,表明关键词出现次数越多。中心性代表共现几率的大小,中心性越强,表明该关键词与其他关键词共同出现的几率越大。从研究问题角度来

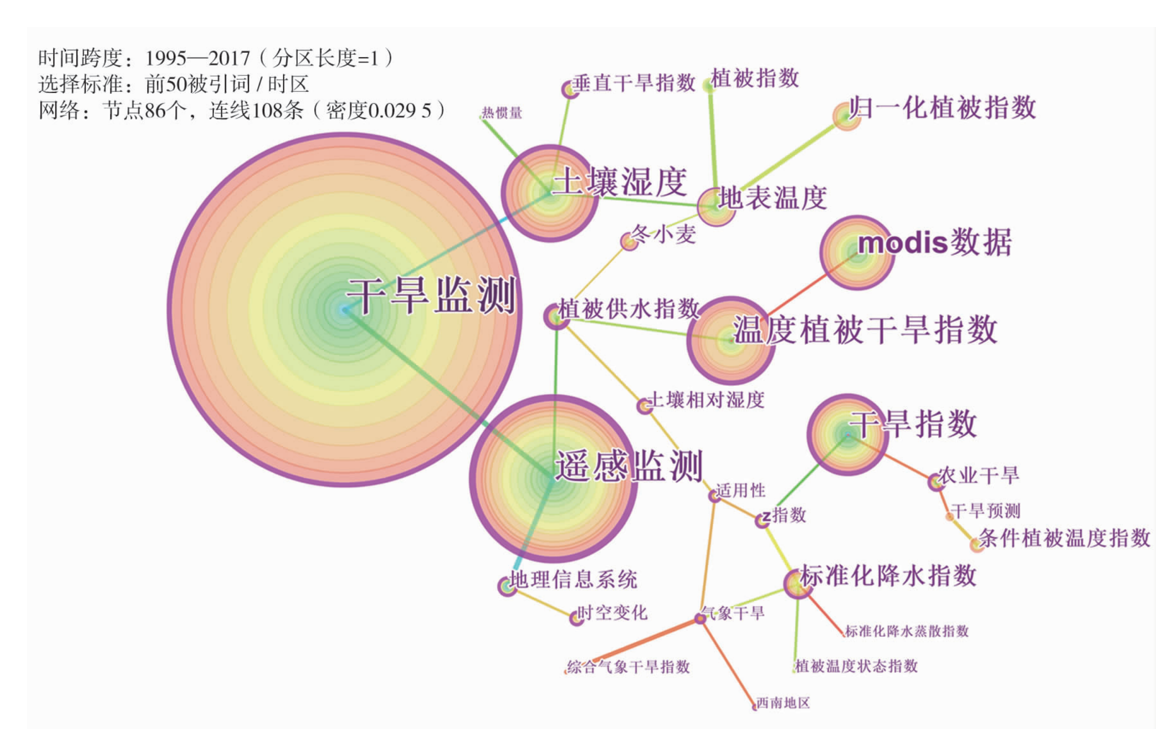


图 2　1995—2017 年干旱遥感监测关键词共现网络知识图谱

Fig. 2　Keywords of drought remote sensing monitoring research in 1995—2017

表 1　1995—2017 年主要高频关键词及中心性表

Tab. 1　Keywords of high frequency and centrality in 1995—2017

序号	关键词	频次	中心性
1	干旱监测	273	0.42
2	遥感监测	125	0.74
3	土壤湿度	76	0.57
4	温度植被干旱指数	64	0.42
5	干旱指数	57	0.42
6	MODIS 数据	57	0.33
7	地表温度	31	0.20
8	归一化植被指数	29	0.09
9	标准化降水指数	22	0.25
10	植被供水指数	16	0.53

看，频次和中心性高的关键词一般是某一段时间内关注度较高的问题，也就是研究热点和前沿。

根据关键词共现知识图谱（图 2）、高频关键词以及中心性表（表 1）分析干旱遥感监测的热点与趋势。“干旱监测”被引频次最高，为 273 次，此外，0.42的中心性表明“干旱监测”和其他与之相关的关键词共同出现的频次较高。“遥感监测”被引频数次之，为 125 次，中心性为 0.74。随着遥感技术的普及，利用遥感数据建立干旱遥感监测模型，进行干旱监测与评估成为监测旱灾的主要途径。农业干旱主要是指土壤中水分含量过低，使得农作物受到水分胁迫影响，土壤水分与作物生长状况成为了研究农业旱情的重要参考[22]。因此，反演土壤水分，计算植被指数，提取地表温度和植被冠层温度成为农业干旱监测重要方法。“土壤湿度”、“温度植被干旱指数”、“地表温度”、“归一化植被指数”、“标准化降水指数”、“植被供水指数”等干旱指数出现的频次也较高。MODIS 数据因获取免费、方便，可供大范围监测，成为了干旱遥感监测最重要的数据来源，出现的频次为 57 次。

综上所述，基于微波遥感和热惯量模型反演土壤水分、基于植被指数研究植被生长状态和植被覆盖度、基于热红外遥感研究地表温度和植被温度状态等由于技术较成熟，适用区域广，依然是未来干旱遥感监测研究的重要方法。但是，单纯利用一种类型数据或者某一方面信息很难对干旱这样复杂的自然灾害进行全方位监测，例如：以水分蒸散量、径流量、补水量和失水量等气象和水文数据为基础的帕尔默干旱指数虽然可以反应出干旱的过程，但是过度强调了水分平衡，并不适合持续时间较长的交替性干旱的监测[23-24]。以植被指数和地表温度特征空间构建的遥感监测模型具有明显的时间滞后性[22]。因此，研究与发展干旱综合监测模型、将气象监测数据与遥感技术进行有效结合，提高干旱遥感监测的精度并对干旱进行合理的评估及预测是未

来研究的趋势。由于深居亚欧大陆内部,受太平洋暖湿气流影响较弱,加之青藏高原阻挡了来自于印度洋的暖湿气流,干旱少雨成为西北地区基本的环境特征[25];西南地区虽然年降水量充沛,但降水量季节分配比例失调和时空分布不均,水利工程设施的落后使得该地区屡屡发生干旱现象[26]。因此,西北地区和西南地区依然是未来国内学者研究的重点区域。受全球气候变暖的影响,华中地区主要受春旱和秋旱的影响、华北以及东北区域则受夏旱和秋旱的影响较大[27],这些地区也必将成为研究干旱的重点区域。

2.3 作者合作网络分析

研究者是推进学科领域建设的核心力量,对研究领域的作者进行分析,可以识别出一个学科领域内学者之间的社会关系[28]。使用 CiteSpace 软件对干旱遥感监测领域的作者进行分析,得到共引作者图谱(图 3),图谱中有 151 个节点、189 条连线、网络密度为 0.016 7。作者合作图谱中,圆圈大小代表作者发文数量,两个节点之间的连线代表两个作者间的合作,中心性的大小与作者之间的合作密切相关,中心性越大,表明该作者与其他作者的交流合作越多。

从作者发文量角度分析,“王鹏新”、“张树誉”两名作者节点最大,说明发文量最多。其中,王鹏新发文量为 27 篇,张树誉为 18 篇;“张强”和“李俐”次之,均为 10 篇;此外,“王劲松”、“刘峻明”、“孙丽”、“秦其明”、“李耀辉”等的发文量均在 5 篇以上(表 2)。从作者合作角度分析,国内研究呈现“部分集中,整体分散”的分布形式(图 4)。合作交流密切的团队主要有以下三个:以来自于中国农业大学的王鹏新教授和陕西省农业信息中心的张树誉为主的作者群体,该群体主要研究方向为条件温度植被指数的研究及利用该指数进行干旱预测、作物估产以及干旱等级划分;以王劲松和张强学者为主的国家气象局研究团队,该团队研究方向是利用气象数据与遥感监测技术对干旱指标适用性、差异性的研究;以北京大学秦其明、北京师范大学姚云军为主的作者群体,该作者群体的研究方向主要为垂直干旱指数与改进的垂直干旱指数的研究与应用。综上而言,研究者之间存在的合作,大多是由于存在合作交流的作者均来自于同一高校、机构或者两个机构之间存在项目上的合作。然而不同的机构团队之间,合作交流较少,长此以往将不利于干旱遥感监测技术的完善与发展。

2.4 发文机构分析

研究机构是研究者开展干旱遥感监测研究的重要依托,以干旱遥感监测研究成果产出为主要依据,利用 CiteSpace 对该领域的主要研究机构进行计量分析,得到发文机构知识图谱(图 4),其中节点外接圆越大,说明该机构发文数量越多。两个节点之间的连线代表着机构之间的交流合作,中心性在一方面反映着机构的对外交流合作能力。图中共有 82 个节点,60 条连线,网络密度为 0.018 1,说明国内干旱遥感监测研究机构之间的合作联系较小,学术的交流与合作有待加强。合并所有的二级机构及附属机构,中科院出现的次数最多,其次是中国气象局和中国农业大学。

从科研实力的角度来看,不同机构间干旱遥感监测技术存在着显著差距。中科院发文量为 50 居首,中国气象局发文量为 38 次之,主要原因是中国科学院与中国气象局的二级机构较多,分布比较广泛。中国农业大学以王鹏新教授为主的干旱遥感监测团队近年来卓有成就,发文量为 30 篇;南京信息工程大学因其领先的气象研究水平,发文量为 27;由于西北地区气象干旱频发,陕西省气象局、陕西省农业遥感信息中心等在干旱遥感研究领域的贡献也十分突出。北京师范大学、中国农业科学院等机构发文量也均在 10 篇以上(表 3)。其余的高校、研究院由于科研团队较少,科研资源与条件有限,尽管在干旱遥感监测领域有较多研究成果,但是与排名前列的机构仍存在明显的差距。

从区域的角度上来看,干旱遥感监测研究机构发文量与该区域干旱灾害发生的频率、几率密切相

表 2 1995—2017 年主要作者发文量及其机构

Tab. 2 Published papers of authors and their institutions in 1995—2017

序号	作者	发文量	机构
1	王鹏新	27	中国农业大学
2	张树誉	18	陕西省农业遥感信息中心
3	张　强	10	中国气象局
4	李　俐	10	中国农业大学
5	王劲松	9	中国气象局
6	刘峻明	7	中国农业大学
7	孙　丽	5	农业部规划设计研究院
8	秦其明	5	北京大学
9	李耀辉	5	中国气象局兰州干旱研究所

图3　1995—2017年干旱遥感监测领域作者合作知识图谱

Fig. 3　Authors of drought remote sensing monitoring research in 1995—2017

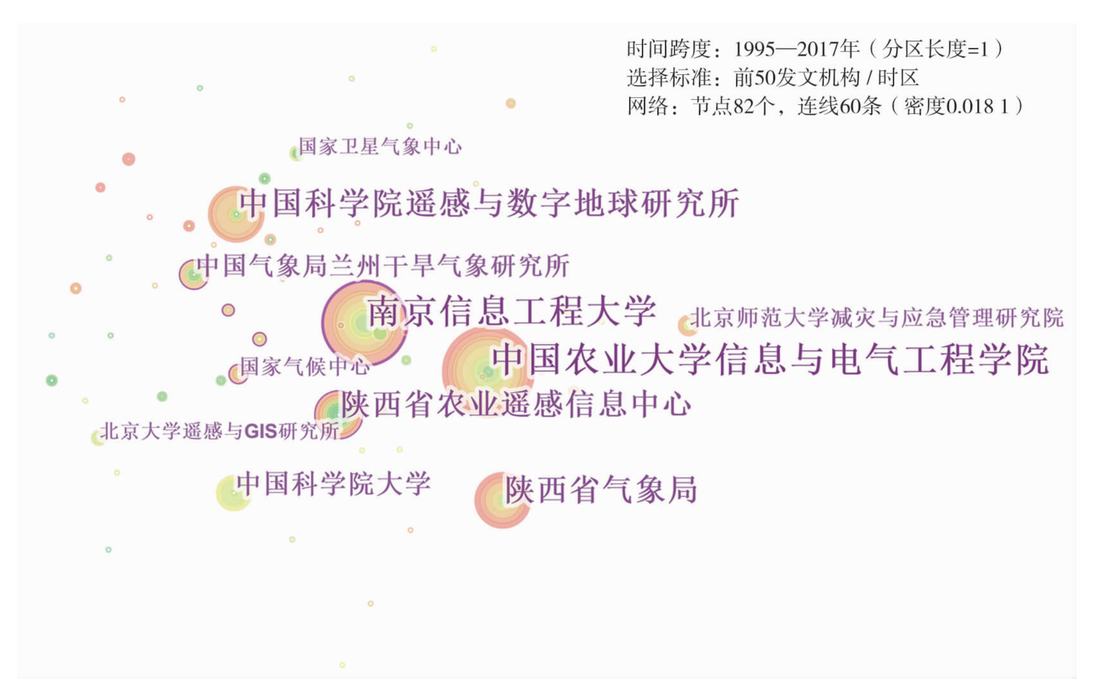


图4　1995—2017年干旱遥感监测发文机构知识图谱

Fig. 4　Institutions of drought remote sensing monitoring research in 1995—2017

关。西北地区、西南地区等由于特殊的地理位置与气候特征，发生干旱的频率与几率比较高。中科院新疆生态与地理研究所、陕西省气象局、中国气象局兰州干旱气象研究所等研究机构发文量数量多。受全球气候变化的影响，华中、华北、东北等区域干旱现象发生频率不断增加，促使该区域内如中国农科院、南京信息工程大学、河南省气象局、北京师范大学等机构越来越多的关注干旱监测。此外，研究表明：代表不同机构节点的中心性均不高，南京信息工程大学的中心性最高，但仅为0.21，由此说明机构间合作较少，先进的科研技术与完善的科研条件无法实现高利用率的共享，在某些方面限制了国内干

表 3　1995—2017 年主要机构发文量表

Tab. 3　Published papers of institutions in 1995—2017

序号	机构	发文量
1	中国科学院	50
2	中国气象局	38
3	中国农业大学	30
4	南京信息工程大学	27
5	陕西省气象局	17
6	北京师范大学	17
7	陕西省农业遥感信息中心	16
8	中国农业科学院	11

旱遥感监测领域的发展。

3　结论与展望

本文基于 CiteSpace 软件对 1995—2017 年间国内干旱遥感监测领域的 642 篇相关文献的知识图谱结构进行分析,得到以下结论:干旱遥感监测领域先后经历了三个时期,分别为监测技术转变的“起步探索期”、监测模型创新和试验的“快速增长期”以及遥感监测技术大范围应用的“持续发展期”;“干旱监测”、“遥感监测”、“土壤湿度”、“温度植被干旱指数”、“地表温度”以及“归一化植被指数”等关键词出现频率高,一直是研究的热点。研究与发展干旱综合监测模型,将气象监测数据与遥感技术进行有效结合,提高干旱遥感监测的精度并对干旱进行合理的评估与预测是未来研究的趋势;我国干旱遥感监测研究呈现“部分集中,整体分散”的分布状态,常见的合作交流团队大多是由同一机构的学者组成,学者之间的合作交流有待加强;不同机构的科研实力存在较大差距,干旱遥感监测研究机构的发文量与该区域发生干旱灾害的频率和几率呈正相关性。因此,遥感监测技术依然是未来我国监测旱灾最有效的途径之一。面对气候变化的复杂性与影响的广泛性,今后干旱遥感监测应该重点关注以下几个方面:

(1)单方面的数据或信息在干旱监测方面存在某些局限性,在考虑到土壤水分、植被覆盖度、植被类型、地表环境等因素的基础上,基于多源信息的干旱综合监测模型[29]往往可以获得更高的监测精度。此外,针对干旱监测这样复杂的科学问题,多源数据挖掘的方法也同样适用[30]。

(2)大范围干旱监测评估、预警以及决策支持系统是干旱监测领域未来的发展方向。在高精确干旱遥感监测的基础上,针对干旱现象的滞后性特点,做到更加精准预测,以便及时对即将遭受的旱灾做出反应。

(3)构建庞大的干旱遥感监测平台,充分发挥干旱遥感监测技术在社会服务方面的应用。不断实现干旱遥感监测服务的产品化、商业化,构建完整的干旱遥感监测服务体系,实现干旱遥感监测从理论基础到业务化应用的转变。

(4)干旱遥感监测作为一个多学科交叉的研究领域,应该尽可能的发挥每个学科的优势。为此应加强国内学者之间的交流合作,特别是机构之间的合作,实现资源共享,优势互补。同时,也应当多学习借鉴国外先进的干旱遥感监测技术,让干旱遥感监测在未来发挥愈来愈重要的作用。

参考文献(References)

[1] 王劲松,郭江勇,周跃武,等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理,2007,30(1):60－65. [WANG Jinsong,GUO Jiangyong,ZHOU Yuewu,et al. Progress and prospect on drought indices research[J]. Arid Land Geography,2007,30(1):60－65.]

[2] 杨绍锷,闫娜娜,吴炳方. 农业干旱遥感监测研究进展[J]. 遥感信息,2010,(1):103－109. [YANG Shao'e,YAN Nana,WU Bingfang. Advances in agricultural drought monitoring by remote sensing[J]. Remote Sensing Information,2010,(1):103－109.]

[3] 尹晗,李耀辉. 我国西南干旱研究最新进展综述[J]. 干旱气象,2013,31(1):182－193. [YIN Han,LI Yaohui. Summary of advance on drought study in southwest China[J]. Journal of Arid Meteorology,2013,31(1):182－193.]

[4] 杨新星,王东侠. 2016 年全国旱灾及抗旱行动情况[J]. 中国防汛抗旱,2017,27(1):30－33. [YANG Xinxing,WANG Dongxia. National drought and drought actions in 2016[J]. China Flood & Drought Management,2017,27(1):30－33.]

[5] 黄友昕,刘修国,沈永林,等. 农业干旱遥感监测指标及其适应性评价方法研究进展[J]. 农业工程学报,2015,31(16):186－195. [HUANG Youxin,LIU Xiuguo,SHEN Yonglin,et al. Advances in remote sensing derived agricultural drought monitoring indices and adaptability evaluation methods[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2015,31(16):186－195.]

[6] HEIM R R J. A review of twentieth-century drought indices used in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2002,83(8):1149－1165.

[7] 周磊,武建军,张洁. 以遥感为基础的干旱监测方法研究进展[J]. 地理科学,2015,35(5):630－636. [ZHOU Lei,WU Jianjun,ZHANG Jie. Remote sensing-based drought monitoring approach and research progress[J]. Scientia Geographica Sinica,

2015,35(5):630－636.]

[8] DU L,TIAN Q,YU T,et al. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data[J]. International Journal Applied Earth Observation and Geoinformation,2013,23:245－253.

[9] CHEN C M. CiteSpace II:Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,2006,57(3):359－377.

[10] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015,33(2):242－253. [CHEN Yue,CHEN Chaomei,LIU Zeyuan,et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. Studies in Science of Science, 2015,33(2):242－253.]

[11] ZHANG L,JIAO W,ZHANG H,et al. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2017,190:96－106.

[12] 张强,鞠笑生,李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定[J]. 气象科技,1998,(2):49－53. [ZHANG Qiang,JU Xiaosheng,LI Shuhua. Comparison of three drought indicators and determination of new indicators[J]. Meteorogical Science and Technology,1998,(2):49－53.]

[13] 黄荣辉,徐予红,周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象,1999,(4):465－476. [HUANG Ronghui,XU Yuhong,ZHOU Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in north China[J]. Plateau Meteorology,1999,(4):465－476.]

[14] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998,13(4):34－38. [ZHANG Qiang. Research on determination of drought index in north China and its application[J]. Journal of Catastropgology,1998,13(4):34－38.]

[15] 张顺谦,卿清涛,侯美亭,等. 基于温度植被干旱指数的四川伏旱遥感监测与影响评估[J]. 农业工程学报,2007,23(9):141－146. [ZHANG Shunqian,QING Qingtao,HOU Meiting,et al. Remote sensing and impact estimation for Sichuan hot-drought based on temperature vegetation dryness index[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007,23(9):141－146.]

[16] 齐述华,张源沛,牛铮,等. 水分亏缺指数在全国干旱遥感监测中的应用研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):367－372. [QI Shuhua,ZHANG Yuanpei,NIU Zheng,et al. Application of water deficit index in drought monitoring in China with remote sensing[J]. Acta Pedologica Sinica,2005,42(3):367－372.]

[17] 王鹏新,龚健雅,李小文. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2001,26(5):412－418. [WANG Pengxin,GONG Jianya, LI Xiaowen. Vegetation-temperature condition index and its application for drought monitoring[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001,26(5):412－418.]

[18] 詹志明,秦其明,阿布都瓦斯提·吾拉木,等. 基于 NIR-Red 光谱特征空间的土壤水分监测新方法[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2006,36(11):1020－1026. [ZHAN Zhiming,QIN Qiming,ULAM Abduwasit,et al. A new approach for soil moisture remote sensing monitoring based on NIR-Red spectral feature space[J]. Scientia Sinica(Terrae),2006,36(11):1020－1026.]

[19] 孙灏,陈云浩,孙洪泉. 典型农业干旱遥感监测指数的比较及分类体系[J]. 农业工程学报,2012,28(14):147－154. [SUN Hao,CHEN Yunhao,SUN Hongquan. Comparisons and classification system of typical remote sensing indexes for agricultural drought[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(14):147－154.]

[20] 王素萍,王劲松,张强,等. 几种干旱指标对西南和华南区域月尺度干旱监测的适用性评价[J]. 高原气象,2015,34(6):1616－1624. [WANG Suping,WANG Jingsong,ZHANG Qiang,et al. Applicability evaluation of drought indices in monthly scale drought monitoring in southwestern and southern China[J]. Plateau Meteorology,2015,34(6):1616－1624.]

[21] 姜春林,杜维滨,李江波. 经济学研究热点领域知识图谱:共词分析视角[J]. 情报杂志,2008,(9):78－80. [JIANG Chunlin,DU Weibin,LI Jiangbo. Economy papers map of co-occurrence analysis based on CSSCI[J]. Journal of Information,2008,(9):78－80.]

[22] 高磊,覃志豪,卢丽萍. 基于植被指数和地表温度特征空间的农业干旱监测模型研究综述[J]. 国土资源遥感,2007,(3):1－7. [GAO Lei,QIN Zhihao,LU Liping. An overview on agricultural drought monitoring models based on vegetation index and surface temperature feature space[J]. Remote Sensing for Land & Resources,2007,(3):1－7.]

[23] 刘庚山,郭安红,安顺清,等. 帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学,2004,(4):21－27. [LIU Gengshan,GUO Anhong,AN Shunqing,et al. Research progress in Palmer drought severity index and it's application[J]. Journal of Natural Disasters,2004,(4):21－27.]

[24] 姚玉璧,董安祥,王毅荣,等. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究[J]. 干旱区地理,2007,30(1):22－29. [YAO Yubi,DONG Anxiang,WANG Yirong,et al. Compare research of the regional arid characteristic base on Palmer drought severity index in spring over China[J]. Arid Land Geography, 2007,30(1):22－29.]

[25] 程国栋,王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾——变化趋势与对策[J]. 地学前缘,2006,13(1):3－14. [CHENG Guodong, WANG Genxu. Changing trend of drought and drought disaster in northwest China and countermeasures[J]. Earth Science Frontiers, 2016,13(1):3－14.]

[26] 姚玉璧,张强,王劲松,等. 中国西南干旱对气候变暖的响应特征[J]. 生态环境学报,2014,23(9):1409－1417. [YAO Yubi, ZHANG Qiang,WANG Jingsong,et al. The response of drought to climate warming in southwest in China[J]. Ecology and Environmental Sciences,2014,23(9):1409－1417.]

[27] 韩兰英. 气候变暖背景下中国农业干旱灾害致灾因子、风险性特征及其影响机制研究[D]. 兰州:兰州大学,2016. [HAN Lanying. The agricultural drought disaster hazard factor,risk characteristic and mechanisms in China under climate warming[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2016.]

[28] 韩增林,李彬,张坤领,等. 基于 CiteSpace 中国海洋经济研究的知识图谱分析[J]. 地理科学,2016,36(5):643 - 652. [HAN Zenglin,LI Bin,ZHANG Kunling,et al. Knowledge structure of China's marine economy research:An analysis based on CiteSpace map[J]. Scientia Geographica Sinica,2016,36(5):643 - 652.]

[29] 杜灵通,田庆久,王磊,等. 基于多源遥感数据的综合干旱监测模型构建[J]. 农业工程学报,2014,30(9):126 - 132. [DU Lingtong,TIAN Qingjiu,WANG Lei,et al. A synthesized drought monitoring model based on multi-source remote sensing data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2014,30(9):126 - 132.]

[30] WARDLOW B D. The vegetation drought response index (VegDRI):A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation[J]. Giscience & Remote Sensing,2008,45(1):16 - 46.]

Knowledge structure analysis of drought monitoring using remote sensing technology in China based on CiteSpace

WANG Jian-xun, HUA Li, DENG Shi-chao, KONG Xiang-ru, WANG Hui-dong

(*Research Center of Water and Soil Conservation*,*Huazhong Agricultural University*,*Wuhan* 430070,*Hubei*,*China*)

Abstract: By using CiteSpace software with visual analysis for a knowledge graph,642 papers were analyzed about research on drought monitoring using remote sensing technology from 1995 to2017 in the databases of "SCI Journals","EI Journals","Core Journals" and "CSSCI Journals". The result shows China has experienced three stages on drought monitoring research,which are as follows:Traditional site-based drought monitoring,small-scaled drought monitoring by remote sensing technology,and a wide-ranged drought monitoring and application using remote sensing technology. The drought monitoring by remote sensing technology were mainly conducted from the perspectives of "Drought Monitoring","Monitoring using Remote Sensing technology","Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)","Soil Humidity","Land Surface Temperature" and "Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)". WANG Pengxin,ZHANG Shuyu and ZHANG Qiang are the main authors of the relevant papers. Chinese Academy of Sciences,China Meteorology Bureau and China Agricultural University are the main organizations where the authors come from. In the future,there are some important aspects about domestic drought monitoring research which include the multi-source based comprehensive drought monitoring model, the large-scale drought monitoring assessment,the early warning and decision support systems,the application of the drought monitoring using remote sensing technology in social services,and the reinforcement of the exchange and cooperation between domestic scholars and institutions.

Key words: drought monitoring; remote sensing technology; CiteSpace; knowledge mapping